УДК 658.52
Б.О.Пальчевський
Луцький національний технічний університет

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ФАСУВАЛЬНО-ПАКУВАЛЬНИХ МАШИН

Проведено аналіз розвитку пакувальних автоматів, показано шляхи вдсконалення технології їх проектування.

Ключові слова: *проектування, технологія, пакувальні автомати.*

Вступ

За останні 10 років пакувальна галузь ввійшла в число провідних галузей економіки України. Однак, при цьому стають помітними внутрішні проблеми, пов'язані з насиченням пакувального виробництва України застарілим технологічним обладнанням. Особливо це помітно після знайомства з пакувальним обладнанням провідних виробників на виставках пакувальної техніки, яке відрізняється вищим рівнем автоматизації, складнішою технологічною структурою.

Звертає на себе увагу той факт, що пакувальне обладнання відрізняється одноманітністю компонувальних рішень. В основному це однопотокове обладнання послідовної дії. Однак, стає очевидним, що в даний час воно вичерпало весь потенціал підвищення своїх експлуатаційних характеристик. Продуктивність досягла об'єктивної межі, вичерпано практично всі потенційні можливості поліпшення експлуатаційних характеристик устаткування. Багатопокові пакувальні машини застосовуються обмежено для дрібнодозового фасування, конструктивними особливостями яких є обєднання декількох дозаторів, та для розливу і закупорювання рідин, які представляють собою машини роторного типу.

Аналізуючи стан розвитку сучасних пакувальних машин, можна констатувати, що, не дивлячись на явну неперспективність, конкурентна боротьба між їх виробниками ведеться в основному на рівні вдосконалення параметрів вже наявного парку пакувального устаткування та вдосконалення їх структури шляхом додавання до складу машин різних сервісних пристроїв. Прикладів радикального вирішення проблем на структурному рівні дуже мало.

Особливості структури пакувальних технологічних машин

Для того, щоб чітко відрізняти пакувальне обладнання від іншого технологічного обладнання, що використовується в пакувальній галузі, представляється логічним ***визначити пакувальне*** обладнання як таке, що реалізує отримання упаковки, що в загальному випадку складається із таких елементів:

- Д - доза пакованого продукту,
- Т – тара для нього,
- ДПЗ – допоміжні пакувальні засоби, до яких віднесемо: Г – елемент герметизації тари та І – елемент інформації - етикетка, ярлик тощо з необхідною інформацією.

Технологічний процес упаковки включає наступні ***технологічні операції***, що безпосередньо пов’язані з послідовною зміну стану упаковки шляхом виготовлення чи з’єднанням в ціле вищеперерахованих елементів упаковки:

- формування тари, наприклад з полімерної плівки чи з картонного розкрою;
- фасування, що включає дозування продукту і переміщення його в тару,
- запаковування, що забезпечує фіксацію заповненої тари;
- нанесення інформації, наприклад етикетування тари або кришки.

До ***допоміжних операцій***, що забезпечують можливість виконання основних, відносяться:

- транспортування, тобто доставка елементів упаковки до обладнання, що їх з’єднує;
- виведення упаковки з технологічної пакувальної системи;
- контрольна, як така, що фіксує якість процесу упаковки або самої упаковки.

Функціонально-модульна будова пакувальних машин

Технологічна машина (надалі ТМ) в основі своєю представляє технічний засіб реалізації технологічної операції, що складається з декількох функціональних частин – функціональних модулів (ФМ).

© Б.О.Пальчевський

Функціонально-модульний принцип створення ТМ базується на наступних положеннях.

1. Загальна службова функція будь-якої ТМ виконується кінцевим числом функціональних модулів, кожний з яких виконує закінчену частину загальної службової функції машини.
2. Функціональні модулі можуть бути розділені за функціональною ознакою на три види, а саме:

- технологічні функціональні елементи (ТФЕ), які виконують окремі технологічні переходи;
- допоміжні функціональні елементи (ДФЕ), які виконують транспортно-накопичувальні і допоміжні (навантажувально-розвантажувальні і тому подібне) переходи;
- контрольно- функціональні елементи (КФЕ), що виконують контрольно-вимірювальні переходи, що управляють синхронною роботою ФМ.

3. Структура ТМ створюється шляхом забезпечення між функціональними елементами зв'язків. Ці зв'язки забезпечують передачу виробів (матеріальні зв'язки), приводи робочих органів (енергетичні зв'язки) і контроль і управління функціонуванням ТМ (інформаційні зв'язки).

Рівні проектування технологічної машини

Перший рівень полягає у виборі технічної ідеї або принципу дії створюваної пакувальної машини. На другому рівні здійснюється пошук якнайкращої структурної схеми (компоновки) в рамках вибраного принципу дії. Третій рівень полягає у встановленні оптимальних значень параметрів для вибраної компоновки машини.

Завдання **першого рівня** звичайно розв'язуються шляхом аналізу головної службової функції (ГСФ) машини ТМ і розробці принципу її дії. Проводиться декомпозиція ГСФ на елементарні дії, для кожної з яких очевидний функціональний модуль - елемент її реалізації. Тут одержуємо за функціональними ознаками множину структурних елементів ТМ, з яких будується допустима множина принципово можливих типів компонувальних схем машини.

Завдання **другого рівня** дозволяють визначити структурну схему машини, вибравши на підставі критерію ефективності оптимальну з безлічі можливих варіантів компоновок. На основі дослідження пакувального машинобудування були обґрунтовані головний і обмежувальні критерії ефективності машини.

Структурою фасувально-пакувального автомата є набір складових його елементів - ФМ і зв'язків між ними. Структурний синтез або структурна оптимізація пов'язані з варіюванням цих елементів. Завдання структурного синтезу (другого рівня) полягає в пошуку оптимальної структури фасувально-пакувального автомата для реалізації заданих на першому етапі функцій. Основними структурними елементами пакувальних автоматів є виконавчі функціональні модулі (ФМ), за допомогою яких виконуються задані частини технологічної операції. Ці ФМ розрізняються на робочі, допоміжні (настановні, знімні, транспортні) і контрольні.

На другому рівні здійснюється не тільки генерування множини допустимих варіантів компонувань машини, але і пошук оптимального складу і якнайкращої структури машини в рамках вибраного принципу дії. Це — структурний синтез, що полягає у виборі підсистем і ФМ, які комплектують складну пакувальну машину. Завдання структурного синтезу є найбільш складним в плані формалізації: необхідно визначити кількість модулів кожного типа, їх геометричні розміри, принципи реалізації зв'язків між ФМ і тому подібне. Складемо матрицю з ФМ:

$$\text{ФМ}=\begin{pmatrix} ФМ_{11} & ФМ_{12} & \dots & ФМ_{1N} \\ ФМ_{21} & ФМ_{22} & \dots & ФМ_{25} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ ФМ_{M1} & ФМ_{M2} & \dots & ФМ_{MN} \end{pmatrix},$$

де число стовпців відповідає числу технологічних операцій або переходів, а число рядків — числу варіантів конструктивних виконань ФМ або ТМ:

$$\hat{O}\grave{I}_{ij} \in \hat{O}\grave{I}\ , \quad (i = 1,2,...,N; \quad j = 1,2,...,M).$$

Закінчується завдання другого рівня оцінюванням параметрів машини і обґрунтуванням вибору найбільш ефективного варіанту її конструкції. Важливим моментом є вибір критерію кількісної оцінки порівнюваних варіантів структури машини. Це можуть бути продуктивність, капіталоємність, економічний ефект, використана виробнича площа і т.д. Завдання структурного синтезу може бути багатокритеріальним і багатокроковим з послідовним відсіюванням неперспективних варіантів. Параметричний синтез полягає в знаходження оптимальних значень параметрів для вибраної структури системи при відповідних обмеженнях.

© Б.О.Пальчевський

Завдання синтезу оптимальної структури пакувальної техніки нового покоління відрізняється значною складністю. Для вирішення завдань оптимального структурного синтезу застосовуються ряд математичних методів, серед яких слід виділити комбінаторні.

Завдання **третього рівня** полягає у визначенні якнайкращих значень параметрів для вибраної структури. Математична модель пакувального автомата характеризується при рішенні задачі цього рівня чисельними значеннями внутрішніх (конструктивних параметрів машини і технологічних режимів роботи), зовнішніх (параметрів зовнішнього середовища, напівфабрикатів, умов роботи) і вихідні (експлуатаційні параметри машини – продуктивність, надійність, точність дозування і т.п.).

Автоматизація проектування пакувальної машини

При створенні складної пакувальної техніки зручно використати послідовні методи синтезу, засновані на нарощуванні структури шляхом послідовного додавання ФМ до деякого початкового ФМ. На кожному кроці генерується безліч варіантів, з яких послідовно відсівають неперспективні. У основу методу покладена ідея багатокрокового ухвалення рішення.

Весь процес проектування із застосуванням САПР представляється таким, що складається з проектних процедур:

$$\ddot{I} = \{\ddot{I}_1, \ddot{I}_2, ..., \ddot{I}_N\}.$$

Кожна проектна процедура, що полягає в приєднанні до машини одного ФМ, переводить модель проектованого об'єкту *Mi* в наступний стан:

$\Pi_1 : M_1 \to M_2$; $\Pi_2 : M_2 \to M_3$; ..... $\Pi_N : M_N \to M_{N+1}$. Окрема проектна процедура передбачає оцінювання кожного варіанту отриманої структури машини за певними критеріями проектування.

При виконанні проектної процедури повинні виконуватися умови:

$$\forall M_j \in M \exists \Pi_j : M_j \to M_{j+1}$$

де $M_j \subset M_{j+1}, \quad K_j \subset K_{j+1}, \quad O_j \subset O_{j+1}, \qquad j \in [0, n]$.

Ітераційний процес синтезу складається з циклів, що повторюються на кожному етапі проектування і при виконанні типових проектних процедур. Кожна процедура $\Pi_i \in \Pi$ займає певне місце в маршруті проектування, має на вході вихідні дані, а на виході — проектне рішення в вигляді проектного документа, яким проект або закінчується, або стає вихідним для подальшого процесу проектування.

Перспективи розвитку

Рівень розвитку технологічного обладнання визначається також варіативністю його техніко-організаційних компоновок. При цьому слід враховувати наявність:

- багатопотоковості, яка забезпечує зростання продуктивності шляхом паралельної обробки виробів чи то в системі машин, чи то в одній машині;
- багатопозиційності, яка визначається рівнем диференціації і розподілом технологічних дій над упаковкою проміж різних послідовних позицій;
- багатономенклатурності, тобто придатності системи машин і кожної машини до переналагодження на інший вид продукції.

Аналіз парку технологічного пакувального устаткування дозволяє говорити про наступні перспективи розвитку цього ринку:

1. параметричний рівень (тобто інтенсифікація діючого парку пакувального устаткування) може дати лише дорогі відсотки підвищення його експлуатаційних характеристик;
2. структурний рівень модернізації дозволяє перевести пакувальне устаткування на якісно інший рівень, слід розвивати напрям структурного синтезу нового, нетрадиційного пакувального устаткування, виходячи із завдань, які ставить нам новий час.

1. Пальчевський Б.О. Технологічні комплекси пакування // Упаковка.- 2000.- №6.- С.34-35.

© Б.О.Пальчевський